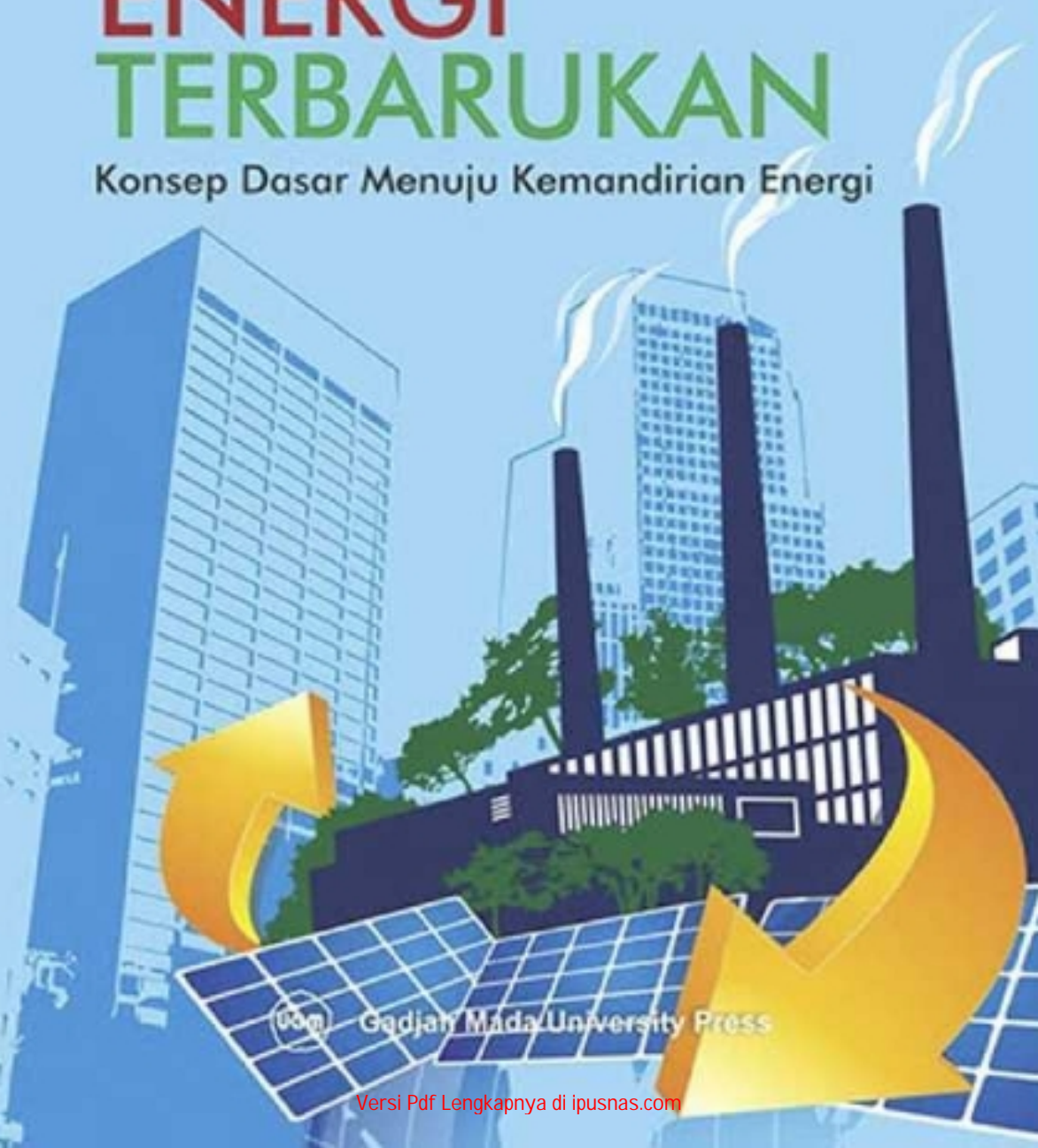


Sukandarrumidi
Herry Zadrak Kotta
Djoko Wintolo

Edisi Warna

ENERGI TERBARUKAN

Konsep Dasar Menuju Kemandirian Energi



Gadjah Mada University Press

ENERGI TERBARUKAN

KONSEP DASAR MENUJU KEMANDIRIAN ENERGI

**Sukandarrumidi
Herry Zadrak Kotta
Djoko Wintolo**

GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

ENERGI TERBARUKAN: KONSEP DASAR MENUJU KEMANDIRIAN ENERGI

Penulis:

Sukandarrumidi, Herry Zadrak Kotta, Djoko Wintolo

Korektor:

Siti

Desain sampul:

Anton

Tata letak isi:

Sambayun

Diterbitkan dan dicetak oleh:

Gajah Mada University Press

Anggota IKAPI

ISBN: 978-602-386-033-3

1511301-C1E

Redaksi:

Jl. Grafika No. 1, Bulaksumur

Yogyakarta, 55281

Telp./Fax.: (0274) 561037

www.gmup.ugm.ac.id | gmupress@ugm.ac.id

Cetakan pertama : Desember 2013

Cetakan kedua (revisi) : Desember 2015

2114.135.12.15

Hak Penerbitan © 2015 Gajah Mada University Press

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

PENGANTAR

Pencipta alam semesta, yaitu Sang Khalik telah menjadikan bumi dan kekayaan yang ada di dalamnya bersama dengan umat-Nya. Kekayaan alam-Nya yang menghidupi manusia wajib dikelola dengan bijak untuk menjaga keberlangsungan hidup generasi mendatang. Keteledoran atau ketidakserasian dalam mengelola alam beserta isinya akan berakibat menyengsarakan anak cucunya, yang apabila hal ini berlangsung berkelanjutan akan berakibat pada kepunahan. Manusia adalah makhluk Tuhan yang paling cerdas di antara semua kehidupan yang diciptakan-Nya. Manusia dapat berbuat apa saja terhadap alam, namun harus dipilih kegiatan yang tidak merusak apalagi menghancurkan. Oleh sebab itu dalam melaksanakan kegiatan hidupnya manusia diwajibkan mengenal dan melaksanakan etika dan estetika. Etika berkaitan dengan apa yang boleh dilakukan, dan apa yang dilarang untuk dilakukan, sedang estetika berkaitan dengan keindahan, keserasian hubungan antarmanusia. Dalam melaksanakan etika dan estetika dituntun oleh konsep berkarya. Salah satu tuntunan yang dapat dilakukan yaitu (3S). S pertama diambil dari kata *Sanctitas*, diartikan sebagai kesucian, kejujuran dengan berpegangan pada ajaran agama. Orang hidup wajib memegang kesucian dan wajib berpedoman pada kejujuran. Kesucian dan kejujuran seperti permukaan keping uang logam yang tidak dapat dipisahkan, di satu sisi menempel kesucian dan pada sisi lainnya melekat kejujuran. Sifat suci dan sifat jujur wajib terikat kuat pada diri sendiri dan juga pada saat berhadapan dengan orang lain. S kedua diambil dari kata *Sanitas*, diartikan sebagai kesehatan, kesehatan jasmani dan rohani. Kesehatan pada diri sendiri dan kesehatan orang lain, tanpa melihat perbedaan agama, suku maupun keturunan. Pada Sanitas tidak dikenal kelas, tidak sehat dapat diderita siapa saja, S ketiga diambil dari kata *Scientia*, diartikan sebagai pengetahuan maupun ilmu pengetahuan. Pengetahuan itu tidak ada batasnya, dan wajib dipelajari. Pembelajaran merupakan suatu proses panjang yang tidak dapat diperoleh sesaat, dalam waktu yang singkat. Banyak tantangan dan godaan siap menghadang dalam pembelajaran. Tidak seperti mendapatkan titik-titik air hujan. Apabila semua orang yang merasa hidup di dunia melaksanakan konsep (3S), dunia akan aman, hidup dijamin

sejahtera tidak kekurangan suatu apa. Orang hidup harus optimis, memiliki konfidensi tinggi.

Di samping konsep (3S), ada lagi tuntunan yang perlu dilaksanakan, yaitu Prestasi, Doa dan Aktivitas Kerja. Terdapat korelasi positif dan bersinergi di antara ketiganya, yang dirumuskan sebagai berikut: Prestasi = Doa + Aktivitas Kerja. Rumusan tersebut dapat diterjemahkan sebagai berikut. Prestasi, tidak akan muncul bila tidak diawali dengan berdoa terlebih dahulu yang dituntun oleh *Sanctitas* (kesucian dan kejujuran), walaupun anda melakukan aktivitas kerja dengan tuntunan *Sanitas* dan *Scientia*. Tanpa doa, Anda berjalan tanpa pelita, tanpa lampu, menabrak ke sana ke mari dengan tujuan untuk menggapai keuntungan diri pribadi, merugikan dan mengambil rezeki orang lain, meskipun kegiatan itu dituntun oleh *Scientia* (pengetahuan dan ilmu pengetahuan), dan *Sanitas* (kesehatan) prima. Meskipun demikian, apabila Anda hanya berdoa saja, meski dituntun oleh *Sanctitas* (kesucian, kejujuran berpedoman pada ajaran agama), tanpa ada aktivitas kerja, tidak akan ada prestasi. Hidup menjadi tidak berarti, hanya menghabiskan masa muda dengan mendambakan belas kasihan orang lain. Singkat kata, apabila anda ingin hidup dengan prestasi nyata, dan bermanfaat untuk masyarakat, anda wajib berdoa dengan tuntunan *Sanctitas*, dan anda wajib melakukan aktivitas kerja dengan dituntun oleh *Sanitas* dan *Scientia*. Lain dahulu, lain pula sekarang. Pada saat ini orang hidup berkompetisi. Siapa yang memiliki ilmu pengetahuan lebih akan maju satu langkah di depan dibandingkan dengan mereka yang kurang ilmu pengetahuan. Ciri di negara maju, masyarakatnya selalu berpikir dengan mengedepankan ilmu pengetahuan, logika, etika dan estetika dalam usaha, menggapai kesejahteraan hidup bersama. Para pimpinan masyarakat mempunyai semboyan kerja: **Apa yang dapat saya sumbangkan untuk negara, dan tidak pernah berpikir fasilitas apa yang diberikan oleh negara pada saya.** Tampaknya di negara dunia ketiga atau negara yang belum maju semboyan kerja yang dikejar dan dituntut oleh para pemimpin masyarakat adalah: **Fasilitas apa yang dapat diberikan oleh negara pada saya, tanpa memberikan imbalan prestasi kerja yang produktif dan kondusif bagi masyarakat.** Tampaknya semboyan kerja seperti yang tersebut terakhir ini berkembang di negara dunia ketiga. Keadaan yang timpang ini diperparah dengan adanya kerja yang meninggalkan kompetensi menuju asal kerja tanpa konsep yang jelas. Di negara seperti itu: **Orang yang menguasai ilmunya, tidak mempunyai otoritas untuk memutuskan suatu kebijakan, namun orang yang mempunyai otoritas untuk memutuskan tidak menguasai ilmunya.** Inilah yang membuat kebijakan

yang tidak merakyat, seperti halnya dalam mengelola sumber energi tak terbarukan dan sumber energi yang terbarukan.

Seperti Anda ketahui, sumber energi tak terbarukan antara lain minyak, gas dan batubara mampu “membakar” negara-negara industri yang hingga saat ini tergantung pada energi BBM, dan sebagian besar produk BBM dikuasai oleh negara yang menjadi anggota OPEC. Produsen minyak dunia ini telah mampu mengerek harga minyak mentah (*crude oil*) dengan nilai jual hingga 120 dollar US per barrel yang semula pernah berada pada harga 60 dollar US per barrel. Cadangan minyak dunia tampaknya juga mulai menipis, di lain pihak “konsumen BBM” justru makin meningkat. Dalam usaha untuk “memperlambat habisnya BBM dunia” apa yang harus dilakukan?. Usaha apa saja yang telah dan akan dilakukan? Negara-negara yang sadar dan telah menguasai teknologi mencoba mencari sumber energi lain sebagai sumber energi alternatif untuk “mengurangi pemakaian” BBM dengan cara menggali sumber energi tak terbarukan yang hingga saat ini masih dipandang dengan sebelah mata. Buku ini mencoba mengulas secara singkat sumber energi tak terbarukan untuk memberi gambaran pada pembaca “keadaan yang telah mencapai titik kritis” pemakaian BBM yang tiada mungkin berhenti. Selain itu diuraikan pula berbagai sumber energi alternatif yang merupakan sumber energi terbarukan yang hingga saat ini belum digarap secara optimal. Dengan harapan, Anda dan rekan-rekan dapat mencoba sebagai *entrepreneur* dengan menumbuhkan sumber energi berbasis pada kekayaan lokal dan kearifan lokal yang tiada akan habis. Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua teman seprofesi yang telah memberi masukan dan mendorong agar buku ini segera terbit. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Gadjah Mada University Press yang telah menerbitkan buku ini dan menghadirkannya di tangan para pembaca. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga disampaikan kepada Majelis Guru Besar Universitas Gadjah Mada yang telah memberi hibah dana penulisan buku ini. Harapan penulis, buku ini bermanfaat dan memberi inspirasi kepada siapa saja terutama kepada pembaca muda untuk berkreasi menjadi seorang *entrepreneur*.

Yogyakarta, 24 November 2013.
Penulis,

Prof. Ir. Sukandarrumidi M.Sc., Ph.D.

DAFTAR ISI

PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xix
 BAB 1	
PENDAHULUAN.....	1
1.1. KOMPONEN ALAM YANG DIPERLUKAN MANUSIA	7
1.2. AIR <i>VERSUS</i> SUMBER DAYA ENERGI	24
1.3. SUMBER DAYA ENERGI DI INDONESIA	27
 BAB 2	
DUNIA MENGHIDUPI MANUSIA	41
2.1. SUMBER DAYA ALAM	41
2.2. SUMBER ENERGI TAK TERBARUKAN	48
2.3. MINYAK MAMPU MENGGOYANG EKO- NOMI DUNIA	69
 BAB 3	
GAS ALAM	101
3.1. PRINSIP PEMISAHAN GAS	104
3.2. POTENSI GAS DI INDONESIA	106
 BAB 4	
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI	116
4.1. ENERGI PANAS BUMI	118
4.2. <i>PLATE</i> TEKTONIK DAN PANAS BUMI	123
4.3. SISTEM PANAS BUMI	127
4.4. KONSEP DASAR PLTP	129
4.5. KEGIATAN UTAMA USAHA PANAS BUMI ..	137
4.6. PENGEMBANGAN LAPANGAN PANAS BUMI	141
4.7. PENILAIAN KELAYAKAN PENGEMBANGAN LAPANGAN PANAS BUMI	144

4.8.	RISIKO PADA KEGIATAN USAHA PANAS BUMI	146
4.9.	PLTP DI INDONESIA	151
BAB 5	PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR	160
5.1.	ENERGI NUKLIR	160
5.2.	MACAM RADIASI	162
5.3.	SUMBER RADIASI	172
5.4.	BERBAGAI JENIS PLTN	187
5.5.	LIMBAH RADIOAKTIF	184
5.6.	PERKEMBANGAN BERITA TENTANG PLTN	191
BAB 6	PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU	203
6.1.	ENERGI ANGIN	203
6.2.	KONDISI GEOGRAFIS KEPULAUAN INDONESIA	208
6.3.	KONSEP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU	210
6.4.	BERITA SEPUTAR PLTB	217
BAB 7	PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO ...	222
7.1.	MIKROHIDRO	225
7.2.	PRINSIP KERJA PLTMH	228
7.3.	INOVASI DAN KREASI	238
BAB 8	REKAYASA MEMBUAT <i>BIOFUEL</i>	245
8.1.	<i>BIOFUEL</i> DARI JARAK PAGAR	249
8.2.	PROSES PENGAMBILAN MINYAK DARI BIJI	256
8.3.	TEKNOLOGI PRODUKSI <i>BIOFUEL</i> DARI JARAK PAGAR	260
BAB 9	REKAYASA MEMBUAT <i>BIOETHANOL</i>	268
9.1.	<i>BIOETHANOL</i>	268
9.2.	PROSES PEMBUATAN <i>BIOETHANOL</i>	277
9.3.	<i>BIOETHANOL</i> GENERASI KEDUA	283
9.4.	PTPN X MEMBANGUN PABRIK <i>BIOETHANOL</i>	285
BAB 10	REKAYASA MEMBUAT BIOGAS	287
10.1.	BIOGAS	288

	10.2. KOMPOR <i>BIOGAS</i>	299
	10.3. SERBA-SERBI <i>BIOGAS</i>	301
BAB 11	REKAYASA <i>COAL BED METHANA</i>	304
	11.1. URAIAN SINGKAT CBM	304
	11.2. RESERVOIR CBM	307
	11.3. POTENSI GAS <i>METHANA</i> DI INDONESIA ...	313
	11.4. GAS <i>METHANA</i> DI TPASA	316
BAB 12	REKAYASA MEMANFAATKAN ENERGI SINAR MATAHARI	322
	12.1. PEMANFAATAN ENERGI PANAS SINAR MATAHARI	323
	12.2. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ...	333
	12.3. BATERAI	341
	12.4. <i>BATTERY CHARGER</i> REGULATOR	353
	12.5. KEDUDUKAN MODUL SURYA	357
	12.6. INSTALASI BATERAI & ALAT PENGATUR ELEKTRONIK	363
	12.7. BERITA BERKAITAN DENGAN PLTS	365

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pesawat Concorde (gambar kiri), pesawat ulang alik Discovery yang saat ini telah dimuseumkan (gambar kanan)	4
Gambar 1.2	Lahan tanah sebagai tempat permukiman manusia (gambar kiri), dan lahan tanah sebagai tempat tumbuh tanaman (gambar kanan)	8
Gambar 1.3	Lahan kelapa sawit penghasil bahan baku <i>biofuel</i> (gambar kiri), minyak kelapa sawit dimanfaatkan sebagai minyak goreng (gambar kanan)	17
Gambar 1.4	Siklus hidrologi yang terjadi di alam	18
Gambar 1.5	Segi tiga api	22
Gambar 2.1	Skema penggolongan sumber daya alam	43
Gambar 2.2	Alat Calorimeter Leca AC 503	50
Gambar 2.3	Kegiatan di tambang batubara	51
Gambar 2.4	Panorama tambang batubara di Kalimantan Timur (gambar kiri), dan di Sumatera Selatan (gambar kanan)	53
Gambar 2.5	Industri semen Portland (gambar kiri), semen diangkut ke konsumen (gambar kanan)	54
Gambar 2.6	Kompleks PLTU berbahan bakar batubara	55
Gambar 2.7	Lahan gambut di Sumatera	58
Gambar 2.8	Skema kerja PLTU dengan bahan bakar minyak atau batubara	60
Gambar 2.9	Lapangan minyak lepas pantai (gambar kiri), pipa penyalur minyak (gambar kanan)	64
Gambar 2.10	Skema proses pengolahan minyak bumi dengan metode distilasi fraksional	65
Gambar 2.11	Skema proses pengolahan minyak bumi dengan metode pemecahan molekul	68
Gambar 2.12	Ladang minyak di darat (gambar kiri), ladang minyak di laut (gambar kanan)	71
Gambar 2.13	Ladang minyak di tengah hutan (gambar kiri), anjungan minyak di tengah laut (gambar kanan)	72

Gambar 2.14	Tambang minyak rakyat di daerah Bojonegoro, Jawa Timur (gambar kiri), <i>holobis kuntul baris</i> menarik <i>sling</i> untuk mengangkat minyak mentah dari perut bumi (gambar kanan)	74
Gambar 2.15	Kapal tanker pengangkut minyak mentah	75
Gambar 2.16	Lingkungan sumur tua yang dikelola oleh masyarakat setempat (gambar kiri), anggota pekerja minyak rakyat memikul minyak mentah untuk ditampung di bak penampungan sebelum disetor ke BP Migas Cepu	81
Gambar 2.17	Kebakaran di anjungan lepas pantai (gambar kiri), akibat kebocoran sumur minyak lepas pantai, perhatikan kontaminan minyak mentah di permukaan laut (gambar kanan)	84
Gambar 2.18	Kegagalan pengeboran dalam usaha memburu minyak bumi, namun yang keluar semburan liar lumpur (gambar kiri), kapal tanker yang tabrakan sehingga lambung kapal tanker robek (gambar kanan)	86
Gambar 2.19	Kilang minyak terbakar (gambar kiri), pencemaran oleh minyak akibat kebocoran kapal tanker (gambar kanan)	87
Gambar 2.20	Kapal tanker berbendera Singapura yang dibajak di lepas pantai Afrika Barat (gambar kiri), salah satu penyerangan aksi militer yang dilakukan terhadap para pembajak kapal tanker (gambar kanan)	90
Gambar 2. 21	Lapangan gas LNG Tangguh (gambar kiri), kompleks PT. LNG Tangguh (gambar kanan).	95
Gambar 2. 22	Lingkungan tambang gas Kapodang. Blok Muria, Jawa Utara.	96
Gambar 2.23	Pembangkit Listrik Tenaga Uap berbahan bakar batubara berkalori rendah (4200 kcal/kg) di Paiton. ...	96
Gambar 2.24.	Kompleks bangunan pabrik semen dengan bahan bakar batubara.	97
Gambar 2.25	Penimbunan batubara yang siap diangkut dengan kapal ke tujuan konsumen.	97
Gambar 2.26	Lahan gambut (gambar kiri), dan pemanfaatan lahan gambut untuk kebun kelapa sawit (gambar kanan).	98
Gambar 2.27	Pompa angguik untuk memompa minyak mentah	98
Gambar 2.28	Ladang minyak bumi di tengah hutan.	99

Gambar 2.29	Tambang minyak rakyat di Wonocolo, Cepu.	99
Gambar 2.30	Anjungan lepas pantai Arjuna di Laut Jawa.	100
Gambar 3.1	Kompleks LNG Bontang di waktu malam (gambar kiri), kapal tanker pengangkut LNG (gambar kanan)... ..	103
Gambar 3.2	Skema proses pengolahan gas alam	105
Gambar 3.3	Lokasi blok East Natuna (gambar kiri), anjungan lepas pantai blok gas Natuna (gambar kanan)	109
Gambar 3.4	Blok Donggi Senowo (gambar kiri), kilang gas di Donggi Senowo (gambar kanan)	110
Gambar 3.5	Kilang gas PT Badak NGL (gambar kiri), pelabuhan LNG PT Badak di waktu malam (gambar kanan)	112
Gambar 3.6	Akibat semburan liar lumpur Lapindo Brantas yang telah menenggelamkan permukiman (gambar kiri), sebuah tempat ibadah yang terpendam lumpur sehingga tinggal tampak atapnya saja (gambar kanan) .	113
Gambar 3.7	Lokasi lapangan gas LNG Tangguh (gambar kiri), kompleks PT LNG Tangguh (gambar kanan)	114
Gambar 3.8	Lingkungan tambang gas Kepodang Blok Muria, Jawa Tengah	115
Gambar 4.1	Pemanfaatan panas bumi di Lardello, Italia 1913, Iceland 1930, New Zealand 1958, dan Amerika Serikat 1962	118
Gambar 4.2	Skema peningkatan <i>gradient geothermic</i>	119
Gambar 4.3	Terbentuknya sistem panas bumi (<i>hydrothermal</i>)	120
Gambar 4.4	Kenampakan semburan uap panas dikenal dengan nama <i>geyser</i> di California, Amerika Serikat	121
Gambar 4.5	Skema pergerakan lempeng benua	124
Gambar 4.6	Skema gambaran gerak lempeng tektonik (<i>plate tektonik</i>)	126
Gambar 4.7	Indikasi terdapatnya sistem <i>hydrothermal</i> di permukaan kulit bumi: <i>geyser</i> (gambar kiri), mata air panas (gambar tengah), kubangan air panas (gambar kanan)..	127
Gambar 4.8	Skema kerja PLTU	130
Gambar 4.9	Skema kerja PLTP satu fase (fase uap)	131
Gambar 4.10	Skema kerja PLTP dua fase (fase uap dan air)	132
Gambar 4.11	Skema kerja <i>flash steam power plant</i>	133
Gambar 4.12	Skema kerja <i>binary cycle power plant</i>	134
Gambar 4.13	Skema kerja lapangan PLT Panas Bumi yang ramah lingkungan	136

Gambar 4.14	Pengembangan pemanfaatan panas bumi di Kamojang	152
Gambar 4.15	Kawasan PLTP Lahendong, Sulawesi Utara	157
Gambar 5.1	Skema terjadinya peristiwa fisi nuklir (diambil dari buku Encyclopedi	162
Gambar 5.2	Skema kerja PLTN reaksi fisi	177
Gambar 5.3	PLTN Fukushima di Jepang sebelum terjadi tragedi ...	177
Gambar 5.4	Skema mesin reaktor fusi Tomahak	180
Gambar 5.5	Lingkungan PLTN Fukushima di Jepang sebelum terkena bencana tsunami 11 Maret 2011	180
Gambar 5.6	Sketsa Pembangkit Listrik Konvensional	182
Gambar 5.7	Skema Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	182
Gambar 5.8	Skema PLTN jenis Reaktor Air Tekan	183
Gambar 5.9	Kontainer limbah radioaktif	189
Gambar 5.10	Salah satu kompleks PLTN di Amerika Serikat (gambar kiri), PLTN Chernobyl di Rusia (gambar kanan) ...	193
Gambar 5.11	Bom atom pertama yang diledakkan di Hiroshima (gambar kiri), kenampakan awan seperti cendawan pasca ledakkan bom atom (gambar kanan)	194
Gambar 6.1	Anemometer, alat untuk mengukur kecepatan angin dan arah angin	208
Gambar 6.2	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Negara Kincir Angin (Belanda)	211
Gambar 6.3	Skema jaringan PLTB	212
Gambar 6.4	Skema baterai basah	213
Gambar 6.5	Sketsa kincir angin (gambar kiri), dan beberapa model sudu/baling-baling kincir angin dengan berbagai lingkungan	214
Gambar 6.6	<i>Wind turbine</i> generator	220
Gambar 7.1	Siklus geohidrologi	223
Gambar 7.2	Salah satu gambaran lingkungan kompleks PLTA di Indonesia	224
Gambar 7.3	Sungai yang potensial dimanfaatkan sebagai PLTMH	227
Gambar 7.4	Skema Mikrohidro	230
Gambar 7.5	Sungai dengan air terjun potensial untuk Mikrohidro ..	231
Gambar 7.6	Contoh PLTMH sederhana	232
Gambar 7.7	Skala ekonomi dari Mikrohidro	233
Gambar 7.8	Bagan skematis komponen utama PLTMH	234
Gambar 7.9	Sebuah bangunan <i>intake</i>	234

Gambar 7.10	Settling basin (bak pengendap) disebut juga sebagai <i>sand trap</i>	235
Gambar 7.11	<i>Headrace</i> (saluran pembawa)	235
Gambar 7.12	<i>Head tank</i> (saluran penenang)	236
Gambar 7.13	<i>Penstock</i> , yang dalam gambar tampak terbentuk pipa silinder/pipa logam baja	236
Gambar 7.14	Salah satu tipe turbine	237
Gambar 7.15	Tipe mikrohidro <i>Crossflow turbine</i> (gambar kiri), tipe mikrohidro <i>turbine</i> celup (gambar kanan)	238
Gambar 7.16	Tipe mikrohidro <i>turbine</i> Osberger	239
Gambar 7.17	Di bawah tanah yang gersang terdapat sungai bawah tanah dan di permukaan ada telaga yang dapat menghidupi masyarakat Gunungkidul, Yogyakarta	239
Gambar 7.18	Skema sungai bawah tanah Bribin (gambar kiri), sumuran sedalam 100 meter yang dibuat khusus sebagai prasarana pengangkutan bahan bangunan dan mesin <i>turbine</i> dengan alat pengangkut dan pengangkat <i>lift</i> (gambar kanan)	241
Gambar 7.19	Keadaan sungai bawah tanah Bribin (gambar kiri), penelitian awal di dalam sungai bawah tanah (gambar kanan)	242
Gambar 7.20	Situasi dalam gua sungai bawah tanah (gambar kiri), bendung sungai bawah tanah sebagai penggerak turbine penghasil tenaga listrik (gambar kanan)	242
Gambar 8.1	Kebun kelapa sawit (gambar kiri), pabrik minyak kelapa sawit sebagai penghasil bahan baku biofuel dan minyak goreng (gambar kanan)	246
Gambar 8.2	<i>Pagelaran</i> wayang kulit dengan <i>blencong</i> sebagai lampu penerang	248
Gambar 8.3	Tanaman tebu (gambar kiri), jagung (gambar tengah), sorgum (gambar kanan) jenis tanaman yang potensial sebagai bahan baku <i>biofuel</i>	249
Gambar 8.4	Tanaman jarak pagar (<i>Jatropha curcas</i>) (gambar kiri), biji jarak pagar (gambar kanan)	250
Gambar 8.5	<i>Biodiesel</i> yang siap dipakai sebagai campuran bahan bakar minyak (gambar kiri), truck pengangkut <i>biodiesel</i> sebagai bukti kesungguhan berproduksi <i>biodiesel</i> (gambar kanan)	250

Gambar 8.6	Skema pengambilan minyak dari biji jarak pagar	257
Gambar 8.7	Diagram alir proses produksi <i>biodiesel</i>	261
Gambar 9.1	Pabrik <i>bioethanol</i> (gambar kiri), produk <i>bioethanol</i> yang siap pakai (gambar kanan)	270
Gambar 9.2	Skema proses <i>pilot plant bioethanol</i>	278
Gambar 9.3	<i>Bioethanol</i> siap untuk menaikkan nilai <i>oethana</i> (gambar kiri), kendaraan yang memanfaatkan <i>bioethanol</i> (gambar kanan)	280
Gambar 9.4	Kompur alat masak dengan bahan bakar <i>bioethanol</i> (gambar kiri), model lain kompor dengan bahan bakar <i>bioethanol</i> (gambar kanan)	280
Gambar 9.5	Pohon singkong (gambar kiri), ketela singkong (gambar kanan)	283
Gambar 9.6	Skema proses pembuatan <i>bioethanol</i> generasi kedua ..	284
Gambar 9.7	Cangkang kelapa sawit yang sudah dicacah (gambar kiri), jerami padi sebagai bahan baku <i>bioethanol</i> generasi kedua (gambar kanan)	285
Gambar 10.1	Ternak sapi penghasil <i>feses</i> yang dimanfaatkan sebagai bahan baku <i>biogas</i>	289
Gambar 10.2	Skema instalasi <i>biogas</i>	291
Gambar 10.3	Instalasi biogas dengan <i>degester</i> terbuat dari drum minyak (gambar kiri), instalasi biogas dengan tutup rata dengan pinggir atas <i>digester</i> yang terbuat dari beton (gambar tengah), instalasi biogas dengan tutup menonjol dengan pinggir atas <i>digester</i> yang terbuat dari beton (gambar kanan)	292
Gambar 10.4	Cara membuat <i>biogas</i> sederhana	300
Gambar 10.5	Percontohan instalasi <i>biogas</i> di Kalisari (gambar kiri), kompor gas modern (gambar kanan)	300
Gambar 10.6	Pemanfaatan <i>biogas</i> untuk lampu (gambar kiri), modifikasi lampu biogas dari lampu petromak	301
Gambar 11-1	Skema tempat terbentuknya CBM (gambar kiri), dan mekanisme eksploitasi (gambar kanan)	306
Gambar 11.2	Sketsa ideal terdapatnya CBM (gambar kiri), rongga antarlapisan batubara tempat terperangkapnya CBM (gambar kanan)	308
Gambar 11.3	Kaitan antara porositas mikro, meso dan makro tempat CBM terperangkap	309

Gambar 11.4	Diagramatik dijumpainya CBM (gambar kiri), mekanisme keluarnya CBM dari sumur eksploitasi (gambar kanan)	311
Gambar 11.5	Volume <i>versus</i> waktu dalam produksi CBM	312
Gambar 11.6	Aktivitas pemboran CBM di China (gambar kiri), pemboran dengan alat bor <i>truck mounted</i> (gambar kanan)	312
Gambar 11.7	Sumur CBM dioperatori Medco di Rambutan, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan sejak 2009 (gambar kiri) sumur CBM di China (gambar kanan) ...	314
Gambar 11.8	Jaringan pipa CBM	315
Gambar 11.9	Tumpukan berbagai macam sampah berbau menjadi satu (gambar kiri), sampah organik hasil dari pemilahan yang sudah terpendam tahunan mulai diatur untuk “dibuat” gundukan” seperti reservoir gas <i>methana</i>	317
Gambar 11.10	Sampah yang ditutup dengan terpal (gambar kiri), instalasi pengolah gas <i>methana</i> yang berasal dari sampah (gambar kanan)	317
Gambar 11.11	Jaringan listrik PLTSa interkoneksi dengan jaringan listrik PLN (gambar kiri), kegiatan yang sungguh-sungguh telah membuahkan “peresmian” PLTSa di Bantar Gebang	319
Gambar 11.12	Instalasi CBM di daerah tambang batubara	321
Gambar 12.1	Tiga anak bermain di ruang terbuka sekaligus mendapatkan energi panas sinar matahari pagi (gambar kiri), seorang bayi dijemur dengan sinar matahari pagi hari agar lebih sehat (gambar kanan)....	323
Gambar 12.2	Untuk tumbuh dan berkembang hingga berbunga dan berbuah tumbuhan perlu sinar matahari. Tanaman mangga supaya berbuah perlu sinar matahari (gambar kiri), tanaman padi hingga bulirnya dan menguning siap panen juga perlu sinar matahari (gambar kanan). Energi panas sinar matahari juga bermanfaat untuk kesehatan. Uraian berikut akan mampu memperjelas pernyataan ini	325
Gambar 12.3	Mengeringkan pakaian dengan energi panas sinar matahari	327
Gambar 12.4	Proses pembuatan ikan asin diperlukan energi panas sinar matahari	327

Gambar 12.5	Proses pembuatan gaplek dari <i>cassava</i> diperlukan energi panas sinar matahari. <i>Cassava</i> sebagai bahan baku gaplek (gambar kiri), <i>cassava</i> yang sudah dikuliti dijemur dengan energi panas sinar matahari agar kering (gambar kanan)	328
Gambar 12.6	Pembuatan tepung tapioka diperlukan energi panas sinar matahari. Tepung tapioka yang masih basah ditempatkan di <i>tambir</i> untuk dijemur (gambar kiri), tepung tapioka yang sudah dipak siap untuk dikirim ke konsumen (gambar kanan)	329
Gambar 12.7	Pembuatan garam dapur memerlukan energi panas sinar matahari/Ladang penguapan air laut (gambar kiri), garam yang siap diproses lebih lanjut menjadi garam briket (gambar kanan)	330
Gambar 12.8	Kolektor panas berbentuk muka datar	331
Gambar 12.9	Kolektor parabolik	331
Gambar 12.10	Cermin energi	332
Gambar 12.11	Kolam matahari dengan dasar berwarna hitam	333
Gambar 12.12	Kompleks rumah PLTS (gambar kiri), ladang PLTS (gambar kanan)	334
Gambar 12.13	Panel surya yang dipasang pada satelit	335
Gambar 12.14	Piranti <i>Calculator</i> yang memanfaatkan PV	337
Gambar 12.15	Panel surya monokristalin	339
Gambar 12.16	Panel surya polykristal	339
Gambar 12.17	Sistem PLTS dengan komponen terpasang pada satu atap rumah	340
Gambar 12.18	Skema kerja baterai pada satu sistem panel surya (gambar kiri), baterai untuk panel surya (gambar kanan)	342
Gambar 12.19	Skema kedudukan elemen baterai	345
Gambar 12.20	Struktur panel surya tipe <i>roof mounting</i> (gambar atas), dan <i>ground mounting</i> (gambar bawah)	361
Gambar 12.21	Penyangga panel surya di atas atap [(<i>roof mounting</i>) (gambar kiri)], penyangga panel surya di atas tanah [(<i>ground mounting</i>)](gbr,kanan)	362
Gambar 12.22	Skema sistem panel surya mulai dari <i>solar modules</i> hingga <i>battery bank</i>	364
Gambar 12.23	Skema sistem panel surya untuk rumah tangga	364

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Sengketa tanah yang tak kunjung selesai	15
Tabel 2.1	Cadangan energi tak terbarukan	47
Tabel 2.2	Cadangan energi terbarukan	47
Tabel 2.3	Perkiraan kebutuhan tenaga listrik	47
Tabel 2.4	Penggolongan batubara berdasarkan nilai kalori	49
Tabel 2.5	Sumber energi batubara di Indonesia (juta ton)	52
Tabel 2.6	Nilai kalori gambut dibandingkan dengan yang lain	59
Tabel 2.7	Perkiraan kebutuhan minyak di negara maju setiap harinya	69
Tabel 2.8	Perkiraan produksi minyak di beberapa negara	70
Tabel 2.9	Keberlanjutan produksi minyak dan gas bumi di dunia ...	78
Tabel 2.10	Fluktuasi harga BBM di Indonesia	79
Tabel 4.1	Penggolongan sistem panas bumi	129
Tabel 4.2	Potensi energi <i>geothermal</i> di Indonesia	154
Tabel 5.1	Sejarah penelitian tentang energi nuklir	161
Tabel 5.2	Deret Uranium (deret $4n+2$)	168
Tabel 5.3	Deret Actinium (deret $4n+3$)	168
Tabel 5.4	Deret Thorium (deret $4n$)	169
Tabel 5.5	Radionuklida primordial yang tidak membentuk deret	170
Tabel 5.6	Mineral yang mengandung radionuklida primordial	172
Tabel 5.7	Deret Neptunium atau deret $4n+1$	183
Tabel 5.8	Penggolongan limbah radioaktif berdasarkan fasa (padat, cair dan fasa gas)	186
Tabel 5.9	Negara yang telah dapat mendaur ulang limbah radioaktif	
Tabel 5.10	Rincian negara yang memiliki PLTN (unit)	190
Tabel 5.11	Negara pengguna PLTN sampai akhir April 2001	192
Tabel 6.1	Skala kekuatan angin Beauforth	207
Tabel 6.2	Kondisi geografi kepulauan Indonesia	209
Tabel 8.1	Tanaman yang mengandung minyak	247
Tabel 8.2	Parameter kimia dan fisika bahan bakar dari minyak jarak pagar	253

Tabel 8.3	Senyawa kimia jarak pagar	256
Tabel 9.1	Berbagai sumber karbohidrat untuk bahan baku <i>bioethanol</i>	276
Tabel 9.2	Konversi bahan baku (pati/karbohidrat) menjadi <i>bioethanol</i>	277
Tabel 9.3	Hasil Emisi pemakaian E10 dan E85.....	280
Tabel 10.1	Komponen biogas	290
Tabel 10.2	Perbandingan jumlah tinja yang dihasilkan ternak	294
Tabel 11-1	Perbedaan CBM dan gas alam	313
Tabel 12.1.	Beberapa jenis desain baterai	346

BAB 1

PENDAHULUAN

Orang hidup harus optimis dan memiliki fondasi yang kuat. Optimisme muncul bila anda bekerja dengan konsep ilmiah dan berani menghadapi risiko kegagalan. Ilmiah artinya mencari kebenaran, bukan mencari membenaran, berdasarkan atas logika dan pola pikir yang sehat. Untuk menjalani hidup di dunia ini diperlukan pula fondasi yang kuat. Salah satu fondasi itu, adalah [3S], yaitu *Sanctitas*, *Sanitas* dan *Scientia*.

- (1) *Sanctitas*, diartikan kesucian, kejujuran bertitik tolak pada pola pikir ilmiah. Kejujuran pada diri sendiri dan pada orang lain, dan selalu ingat pada Sang Pencipta. Yang benar dikatakan benar, tidak pernah ada keinginan *memelintir* yang salah menjadi benar dengan berbagai cara, bila perlu dengan kekuasaannya. Berlapang dada dan berani mengakui kesalahan yang telah diperbuatnya sesuai dengan data dan informasi yang ada. Tidak berkenan mencari kesalahan orang lain untuk kepentingan diri sendiri. Mampu menunjukkan yang benar sesuai dengan kaidah-kaidah yang bersifat universal.
- (2) *Sanitas*, artinya kesehatan. Hanya mereka yang sehat jasmani dan rohani dapat berpikir secara jernih bertitik tolak pada pola pikir ilmiah, menjauhkan diri pada mitos. Sehat jasmani mampu mendorong melaksanakan tugas sesuai dengan profesi dan keahliannya. Sehat rohani menuntun Anda untuk selalu ingat pada Sang Pencipta yang mengarahkan dan menuntun pada kejujuran hakiki.
- (3) *Scientia*, artinya pengetahuan. Mengerjakan segala sesuatu sesuai dengan konsep-konsep ilmu pengetahuan dengan tujuan utama, mencari dan menemukan kebenaran hakiki demi kesejahteraan umat manusia. Tanggap dan mau menerima kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) untuk kemajuan dan keselamatan umat manusia. Hanya mereka yang mau menyisihkan waktu untuk mempelajari ilmu dan menimba pengetahuan dari orang lain, akan tenang dalam mengarungi bahtera kehidupan di masyarakat.

Sebagai manusia yang beriman, dalam menjalani kehidupan yang penuh dengan dinamika, persaingan dan tantangan, Anda harus optimis, harus beraktivitas yang produktif, disertai doa dengan harapan mohon Sang Pencipta selalu menunjukkan jalan yang benar. Ketiga komponen tersebut dapat dirumuskan dengan formula yang sangat sederhana, dan semua orang mampu melaksanakan. Formula tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Hasil kerja} = \text{doa} + \text{kegiatan yang produktif}$$

Uraian berikut akan memperjelas makna dari formula itu.

- Doa diawali dengan memohon petunjuk dan lindungan Tuhan yang Maha Esa, sesuai dengan kepercayaan masing-masing dengan tujuan “tunjukkanlah pada hamba-Mu ini untuk melaksanakan kegiatan dengan penuh kejujuran. Tunjukkan jalan yang benar dan luruskan ke arah yang benar bila hamba-Mu mulai tampak menunjukkan kebodohan”. Jujur terhadap diri sendiri dan jujur pada orang lain, mampu mengatasi dan menyelesaikan kesulitan yang sedang dihadapi.
- Berkiblat pada doa, Anda harus melakukan kegiatan yang produktif, memanfaatkan kreasi dan inovasi sesuai dengan lingkungan dan adat-istiadat serta kearifan lokal, yang dituntun dan disinari dengan pelita ilmu pengetahuan dan teknologi dalam memanfaatkan sumber daya yang ada, sesuai dengan tujuan misi dan visi institusi.

Dengan doa dan kegiatan yang produktif, diyakini Anda akan mendapatkan hasil. Perlu diingat: bila Anda hanya melakukan kegiatan yang produktif saja, tanpa doa, dalam melaksanakan kegiatan tersebut Anda akan terbawa arus yang kadang-kadang menjerumuskan diri Anda pada kegiatan yang tidak mulia, berlagak jujur dengan motivasi menghancurkan sesama, mengambil barang/rezeki yang bukan miliknya. Menyimpang dari tata krama, sopan santun, mencari jalan pintas demi mendapatkan prestasi dengan konsep ABS (asal bapak senang). Bila Anda hanya berdoa tanpa melakukan kegiatan, Anda hanya mengkhayal, hanya bermimpi, hanya merencanakan dengan harapan akan mendapatkan sesuatu yang Anda inginkan. Namun itu hanya bayang-bayang saja, merupakan fatamorgana yang tidak akan “membahagiakan” kebutuhan fisik. Anda selalu membayangkan semua itu hanya dengan akan dan akan selalu, tanpa tindak lanjut. Anda harus yakin, dengan berdoa, diikuti dengan melaksanakan

kegiatan yang bersinergi, Anda pasti mendapatkan hasil yang memuaskan diri Anda dan juga memuaskan masyarakat. Hasil selalu berkorelasi dengan macam kegiatan yang Anda lakukan.

Sudah seharusnya diakui, dan tidak perlu dibantah dengan berbagai macam *alibi* bahwa kebutuhan hakiki manusia supaya dapat hidup dan bertahan hidup tergantung pada: (1). Tanah, (2). Air, (3). Angin dan (4). Api. Keempat komponen tersebut telah disediakan oleh alam, manusia tinggal memanfaatkan dengan bijak demi kelangsungan hidup masyarakat yang sejahtera. Apabila manusia dalam memanfaatkan empat komponen itu dilakukan secara berlebihan dan tidak mengenal waktu, akan berlanjut pada bahaya, yang dapat meningkat ke bencana dan berakhir pada pemusnahan manusia.

Dalam sejarah kehidupan manusia di dunia, diwarnai oleh dua hal yang selalu bertentangan, yaitu perbuatan yang baik dan perbuatan yang buruk, kelompok yang lemah dan kelompok yang kuat. Kelompok yang disebut terakhir ini ingin menguasai dunia dengan memanfaatkan kelompok yang lemah untuk dijadikan obyek. Untuk mencapai tujuan itu, kelompok yang kuat selalu mengedepankan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) sebagai senjata utama. Perlu diketahui bahwa sifat IPTEK itu tiada terbatas dan bersifat netral. Siapa saja boleh dan dibenarkan untuk memanfaatkan, mempelajari dan mencipta. Namun demikian IPTEK juga mengenal etika dan estetika. Penguasa IPTEK tidak boleh berbuat apa yang dapat diperbuat. Kealpaan akan konsep tersebut cepat atau lambat pasti akan berakibat pada kesengsaraan umat manusia. Semula orang beranggapan **teknometrika** (teknologi mekanik dan elektronika) sudah mampu menghantarkan manusia untuk mencapai ambisi yang tiada berujung, namun wajib didampingi dengan rasa keadilan sosial untuk sesama dan peradaban pada sesama serta berpedoman pada konsep universal yang humanis.

Penciptaan mesin-mesin mekanik yang dikombinasi dengan elektronika telah melahirkan istilah teknometrika (teknologi mekanik dan elektronika). Dengan teknometrika manusia sudah berhasil menciptakan:

- Alat-alat medis yang berbasis **teknometrika**, misal: alat rontgen, Ultra Sonografi (USG).
- Alat perekam data biologis yang berbasis **teknometrika**, misal e-kartu penduduk, perekam DNA.
- Alat-alat teknologi informatika yang sarat dengan **teknometrika**, misal internet, radar.
- Alat-alat pengamat meteorologi, klimatologi dan geofisika yang sarat dengan **teknometrika** misal alat seismograf, satelit.

- Berbagai macam robot yang penuh dengan peralatan *teknometrika*.
- Panel pengendali di ruang *Cockpit* pesawat terbang yang penuh dengan muatan *teknometrika*.
- Berbagai macam peralatan pengendali dan pengatur PLTN yang sarat dengan *teknometrika*.
- Alat-alat pengendali peluru kendali yang sarat dengan *teknometrika*, misal rudal.
- Alat perekam gempa tektonik, dan perekam tsunami yang berbasis *teknometrika*.
- Alat pengendali pesawat tanpa awak yang berbasis *teknometrika*.
- Pesawat terbang Concorde yang dilengkapi dengan alat navigasi yang berbasis *teknometrika*.
- Pesawat ulang alik Discovery ciptaan Amerika Serikat (yang telah mengakhiri masa tugasnya selama 30 tahun pada hari Kamis 19 April 2012) menjadi pesawat ruang angkasa pertama dari armada pesawat ulang alik AS yang telah diabadikan di Museum Boston AS. Pesawat ulang alik Discovery ini penuh dengan peralatan yang berbasis *teknometrika*.



Gambar 1.1. Pesawat Concorde (gambar kiri), pesawat ulang alik Discovery yang saat ini telah dimuseumkan (gambar kanan).`

Keterangan gambar

Concorde adalah sebuah pesawat terbang supersonik yang merupakan satu dari dua jenis pesawat penumpang supersonik yang pernah melayani jalur transportasi secara komersial. Pesawat supersonik lainnya tersebut adalah Tupolev Tu-144 milik Rusia yang juga ditengarai adalah hasil spionase dari Concorde. Concorde memiliki kecepatan jelajah 2,04 Mach (kecepatan suara) dan ketinggian terbang hingga 60.000

kaki (17.700 meter) dengan konfigurasi sayap delta dan evolusi mesin yang dilengkapi dengan mesin jet afterburner awalnya dikembangkan untuk pesawat pengebom strategis (bomber) Avro Vulcan. Penerbangan komersial yang dioperasikan oleh British Airways dan Air France ini dimulai pada 21 Januari 1976 dan berakhir pada 24 Oktober 2003, dengan penerbangan terakhir pada 26 November tahun yang sama. Concorde Tipe: pesawat terbang supersonik, diproduksi: BAC (sekarang BAE sistem) Aerosptiale (sekarang EADS), terbang perdana: 2 Maret 1969, dipensiun: 26 November 2003, Status: pensiun (tidak layak terbang), pengguna: British Airways, Air France, Braniff International Airways, Singapura Airlines, jumlah produksi: 20 unit (6 unit yang bukan pesawat komersial. Harga satuan: 23 juta poundsterling pada 1977.

Pesawat ulang alik Discovery milik NASA Amerika Serikat, diterbangkan pertama kali 30 Agustus 1984. Nama Discovery berasal dari nama HMS Discovery sebuah kapal laut Inggris Raya yang pernah digunakan sang penjelajah James Cook. Hingga pensiun Discovery telah mengadakan 39 penerbangan, menghabiskan kurang lebih 365 hari (satu tahun) di angkasa. Pada 29 Oktober 1998 Discovery membawa astronot John Glenn yang pada saat itu berumur 77 tahun. Pada 24 Februari 2011 merupakan penerbangan Discovery yang terakhir. Setelah pensiun pesawat ulang alik Discovery diserahkan oleh NASA ke Museum Smithsonian Institution National Air and Space Museum sebagai koleksi nasional dan display ke publik di Steven-Hazy Center di Virginia, Amerika Serikat.

Pesawat ulang-alik milik Badan Luar Angkasa Amerika (NASA), Senin (16/4/2012), melakukan persiapan untuk perjalanan terakhir. Namun, bukan ke luar angkasa, melainkan menuju museum di kawasan Washington DC, ibu kota Amerika Serikat. NASA memensiunkan pesawat ulang-alik Discovery dari misi ke luar angkasa. Dan, Selasa (17/4/2012) ini, Discovery akan meninggalkan pusat luar angkasa Kennedy di Cape Canaveral, Florida, untuk tidak kembali lagi ke sana. Discovery kali ini akan menumpang di atas Boeing 747, yang memang disiapkan khusus untuk membawa pesawat luar angkasa seperti Discovery. Pada hari Selasa siang, Boeing 747 akan lepas landas ke Washington. Sebuah upacara selamat tinggal akan dilakukan Boeing 747 dengan Discovery di atasnya melintasi Cape Canaveral, sebelum terbang ke utara, yaitu ke Washington. Para pekerja di pusat luar angkasa Kennedy sejak Senin mengambil gambar bersama di depan Discovery. Enam astronot yang terbang dengan Discovery pada perjalanan terakhir ke luar angkasa sekitar satu tahun lalu juga hadir dalam perayaan selamat tinggal yang penuh emosional. Discovery merupakan pesawat ulang-alik pertama dari tiga pesawat sejenis milik NASA yang akan segera masuk museum. Discovery akan menuju Lembaga Smithsonian, tempat parkirnya yang terakhir. Pesawat ulang-alik (bernama resmi: Space Transportation System atau STS; lebih populer dengan NASA's Space Shuttle atau Space Shuttle saja) adalah pesawat luar angkasa milik Amerika Serikat yang digunakan dalam misi penerbangan luar angkasa berawak. Pesawat ulang alik – tidak seperti pesawat luar angkasa lainnya – badan utama pesawat ulang-alik dapat digunakan kembali di lain waktu. Pesawat jenis ini hanya dimiliki oleh NASA, badan antariksa Amerika, dalam beberapa jenis. Sempat dibuat 5 buah, di mana sekarang